

論 文

## 物流시스템 分析에 관한 研究

—釜山港을 中心으로—

朴 彰 綸\* · 李 哲 榮\*\*

### A Study on the Analysis of Container Physical Distribution System —Pusan Port Oriented—

C. H. Park · C. Y. Lee

Key word : 港灣物流시스템 (Port Physical Distribution System), 副次시스템 (Sub-system), 시스템 분석 (System analysis), 輻輳費用 (Congestion cost), 시스템 최적화 (System optimization), 待期理論 (Queueing theory), 輸送 모드 (Transport Mode), 병목 (Bottle-neck), 船席占有率 (Berth-occupancy), 확률적 모델 (Stochastic model)

#### Abstract

This work aims to : establish a model of the container physical distribution system of Pusan port comprising 4 sub-systems of a navigational system, on-dock cargo handling/transfer/storage system, off-dock CY system and an in-land transport system ; examine the system regarding the cargo handling capability of the port and analyse the cost of the physical distribution system.

The overall findings are as follows :

Firstly, in the navigational system, average tonnage of the ships visiting the Busan container terminal was 33,055 GRT in 1990. The distribution of the arrival intervals of the ships' arriving at BCTOC was exponential distribution of  $Y=e^{-x/5.52}$  with 95% confidence, whereas that of the ships' service time was Erlangian distribution ( $K=4$ ) with 95% confidence. Ships' arrival and service pattern at the terminal, therefore, was Poisson Input Erlangian Service, and ships' average waiting times was 28.55 hours. In this case, 8berths were required for the arriving ships to wait less than one hour.

Secondly, an annual container throughput that can be handled by the 9cranes at the terminal was found to be 683,000 TEU in case ships' waiting time is one hour, and 806,000 TEU in case ship's waiting is 2 hours. In-port transfer capability was 913,000 TEU when

\* 定會員, 韓國海洋大學校 大學院

\*\* 定會員, 韓國海洋大學校 港灣運送工學科 教授

berth occupancy rate(9) was 0.5. This means that there was heavy congestion in the port when considering the fact that a total amount of 1,300,000 TEU was handled in the terminal in 1990.

Thirdly, when the cost of port congestion was not considered, optimum cargo volume to be handled by a ship at a time was 235.7 VAN. When the ships' waiting time was set at 1 hour, optimum annual cargo handling capacity at the terminal was calculated to be 386,070 VAN(609,990 TEU), whereas when the ships' waiting time was set at 2 hours, it was calculated to be 467,738 VAN(739,027 TEU).

Fomthly, when the cost of port congestion was considered, optimum cargo volume to be handled by a ship at a time was 314.5 VAN. When the ships' waiting time was set at 1 hour, optimum annual cargo handling capacity at the terminal was calculated to be 388,416(613,697 TEU), whereas when the ships' waiting time was set 2 hours, it was calculated to be 462,381 VAN(730,562 TEU).

## 1. 서 론

物流시스템의 目的은 良質의 物流서비스를 보다 적은 物流費用으로 外部不經濟의 발생을 보다 적게하여 고객에게 제공하는 것이다. 港灣物流시스템은 선박입출항, 하역, 이송, 보관, 수송, 포장, 정보, 유통가공 등 8가지 부차시스템을 갖고 있다. 港灣物流는 港灣을 經유하는 경제재가 공급자로부터 수요자에게 다다르기까지의 시간적, 공간적 격차를 물리적으로 극복함으로써 그 경제재의 효용 즉, 경제적 가치의 증대를 꾀하는 것을 내용으로 한다. 따라서 港灣을 經유하여 필요로 하는 量의 경제재를 필요로 하는 장소, 시간에 타당한 비용으로 제공하기 위한 物流의 合理化가 중요한 요소가 된다. 이러한 港灣物流合理化를 통하여 궁극적으로 기업의 번영과 경제의 안정적 발전을 가져오게 하는 것이 港灣物流시스템의 目標(Goal)가 된다. 컨테이너 物流시스템은 해상과 육상을 포괄하는 복합일관수송 형태의 물적유통 시스템이다. 그리고 컨테이너 터미널은 선박에서 철도 혹은 도로로, 또는 그 반대로의 컨테이너 화물을 취급하고 제어하는 일련의 행위와 서비스를 제공하는 설비이므로 해상과 육상 輸送手段間의 물리적 연결기능을 가진 컨테이너 物流시스템의 중요한 구성요소이며 여러 관계자(운송업자, 터미널운영자, 하역업자, 노동자, 항만당국자, 화주, 정부 등) 상호간의 이해관계가 얽혀있는 곳이다. 따라서, 이들 각자는 컨테이너 物流시스템의

生産性에 영향을 미치고 때로는 특정터미널 또는 전체시스템 내에서 生産性制御에 중요한 결정요소 및 제한요소가 될 수 있다. 지금까지 港灣의 生産性을 향상시키는 방법으로 특정부문 生産性을 개선하는데 노력을 집중해왔으나 선진국의 몇몇 대형항만을 제외하고는 生産性分析을 위한 자료가 불충분한데다 자료의 편협성으로 인하여 세부분석에 의한 生産性分析에는 한계가 있다. 따라서, 근래에는 港灣生産性向上을 위한 상당수의 계획들이 복합운송의 효율을 증가시키기 위한 것 즉, 수송과정의 개선에 직접적으로 연계되어 있음을 알 수 있다. 많은 수송업자들은 복합운송이 컨테이너 港灣의 生産性을 증가시키기 위한 추진력이라 생각하고 있어서 컨테이너 港灣의 分析에 시스템적 접근법을 취하고 있으며 이것은 컨테이너 港灣의 生産性은 시스템적 관점에서 고려되어야 한다는 것을 나타내고 있다. 사실, 港灣의 컨테이너 物流 시스템이 최대효율을 갖기 위해서는 시스템적 관점에서 고려되어야 한다. 따라서 본 논문은 釜山港을 컨테이너 物流 시스템의 중요한 요소로 간주하여 釜山港의 컨테이너 物流 시스템을 물동량 처리능력면과 물류비용면으로 수식화하고 시스템을 수리모델로 分析함으로써 釜山港을 經유하는 컨테이너 物流 시스템을 개선하고자함을 目的(Objective)으로 한다.

시스템 분석의 범위는 시스템의 효율성과 物流費用을 고려한 부산항 컨테이너 부두의 최적 처리량을 결정하기 위한 부차시스템을 선박 입출항

시스템, 항내 하역, 이송 및 보관 시스템, 항외 이송 및 보관 시스템, 내륙연계 수송 시스템 등 4개의 부차시스템으로 나누고 각 부차시스템의 능력과 물류비용을 분석한 다음 각 부차 시스템 간의 연계관계를 파악하여 전체 시스템의 효율화를 제고한다. 물류비용 분석시는 폭주비용을 고려한 경우와 그렇지 않은 경우로 나누어 분석하는데, 여기서 폭주비용이라 함은 부산항 입출항시 선석 부족등에 의한 선박의 대기시간 비용과 부산시 도시교통 폭주에 의한 컨테이너 수송차량의 지연에 따른 시간 비용을 말하며, 컨테이너 화물 자체의 지연시간 비용은 고려대상에서 제외한다. 그리고 노동력 할당의 문제와 정보 관리 시스템 및 빈 컨테이너 수급문제는 본 논문의 범위에서 제외한다.

## 2.釜山港의 現況

### 2.1 船舶 入出港 시스템 現況

釜山港은 輸出入 컨테이너 物量이 1979년 596,500 TEU(Twenty-Footer Equivalent Unit) 이던 것이 1990년 227만 3천 TEU 로 3.81배의 急速한 增加를 보였으며, 우리나라 수출입 컨테이너 物量의 95% 를 處理하였다. 따라서, 釜山港을 經由하는 컨테이너의 物流를 分析하면 우리나라 輸出入 컨테이너 物流를 分析하는 것과 같은 效果를 얻을 수 있다.

#### (1) 컨테이너 專用埠頭(BCTOC)

1990년 한해동안 釜山港 컨테이너 專用埠頭로 入出港한 總 1,588隻의 船舶에 대한 資料로 부터 入出港 船舶의 噸수별 分布를 보면 入出港 船舶의 平均 Ton數는 33,055 GRT 이며, 最大 59,407 GRT, 最小 7,354 GRT 였다. 30,000 GRT 에서 40,000 GRT 사이의 船舶이 761隻으로 全體 船舶의 約 50%를 차지하고 있어서 釜山港 入出港 컨테이너 船舶은 30,000 GRT級 船舶이 主流를 이룬다고 할 수 있다.

### 2.2 港內 荷役, 移送 및 保管 시스템 現況

#### (1) 컨테이너 專用埠頭

1990년 컨테이너 전용부두(BCTOC)로 寄港한 컨테이너 船舶의 平均 1回 輸送 컨테이너 貨物量은 566 VAN/Ship 으로 그중 T/S 貨物이 船舶當 平均 48.5 VAN/Ship 이었다. 또한 컨테이너 船舶의 平均 荷役作業時間은 17.3時間이고, 荷役作業中 時間當 한 船舶의 平均荷役量은 34 VAN/hr 이며 T/S 貨物을 除外한 境遇 荷役作業中 한 船舶의 時間當 平均荷役量은 31.5 VAN/hr 이었다. 船舶의 平均 接岸時間이 19.323時間이고 平均荷役作業時間이 17.315時間이므로 接岸後 荷役作業前 까지와 荷役後 出港前 까지는 平均 2時間이 必要됨을 알 수 있었다. 그리고, 船舶의 接岸時間當 平均荷役量은 29.8 VAN/hr 이며, T/S 貨物을 除外하면 接岸時間當 船舶의 平均荷役量은 27.6 VAN/hr 였다. BCTOC에서의 作業形態는 輸入의 境遇 갠트리크레인(G/C)에 의한 揚荷作業과 야드트랙터(Y/T)에 의한 保管區域으로의 移送作業 그리고 保管區域에서의 保管을 거쳐 內陸으로 連繫輸送하는 4段階의 作業過程을 거치게 되며, 輸出의 境遇는 이와는 逆順의 過程을 거친다. 그리고, BCTOC의 保管능력은 Full 컨테이너인 경우 S/C지역에 1.5단, T/C지역에 3단 積載時 一時藏置能力은 14,098 TEU이며, Empty 컨테이너인 경우 Empty 컨테이너 地域에 2.5段 積載時 一時藏置能力은 3,010 TEU이므로 合計 17,108 TEU의 Full 및 Empty 컨테이너를 BCTOC藏置場에 一時藏置할 수 있다. 이 외에도 CFS 및 Empty 藏置 地域에 2.5段 積載時 832 TEU, 鐵送 藏置地域에 2.5段 積載時 225 TEU, 特殊 컨테이너 藏置場에 ON-CHASSIS 狀態로 90개의 컨테이너를 藏置할 수 있다.

#### (2) 在來埠頭 (CONVENTIONAL PIER)

1990년 釜山港을 통하여 輸出入한 컨테이너 量은 227만 3천 TEU 인데, 그중 130만 TEU 는 BC-TOC 에서 處理하였으며 나머지 97만 3천 TEU 는 在來埠頭(CONVENTIONAL PIER)에서 處理

하여 在來埠頭에서의 컨테이너 處理量은 釜山港 全體 컨테이너 處理量의 42.8% 를 차지하고 있는 실정이다. 그 결과, 컨테이너 船舶의 接岸서비스로 인하여 他種貨物輸送船舶의 入出港 및 接岸 서비스에 많은 支障을 招來하고 있다. 釜山港 在來埠頭的 컨테이너 貨物 公稱處理能力은 5船座를 컨테이너 埠頭로 割當하였을 경우 36만 TEU이나 그 荷役能力은 使用裝備와 使用船席數에 의해 달라지므로 1989년 處理한 89만 TEU를 基準으로 한다면 실질적인 컨테이너 荷役に 投入된 船席數는 11船席으로 推定된다.

### 2.3 港外 移送 및 保管 시스템 現況

釜山港 周邊의 ODCY는 1990년 1월 기준으로 BCTOC로 부터 16km以內에 16個 業體가 運營하는 34個所로서 總面積 1,208,426m<sup>2</sup>(365,549坪)을 占有하고 있으며, 全體面積의 88%인 1,067,312m<sup>2</sup>을 CY로, 12%인 141,114m<sup>2</sup>을 CFS로 運用하고 있다. 指定保稅區域인 鐵道 CY는 全體의 8.4%이며 나머지 91.6%가 ODCY이다. BCTOC와 ODCY 간의 컨테이너輸送에 있어서 10-12시, 15-17시, 20-22시 사이에 Peak time 이 발생하고 있으며, 이때 全體物動量의 약 85%가 輸送되고 있다.

## 3. 시스템 모델의 構成

### 3.1 概要

시스템 모델을 構成하기 위하여 釜山港의 컨테이너 物流 시스템을 船舶入出港 시스템, 港內 荷役, 移送 및 保管 시스템, 港外 移送 및 保管 시스템, 內陸連繫輸送 시스템 등 4개의 副次시스템으로 나누며, 船舶接岸順序는 FCFS(First Come First Served)原則을 따른다고 假定한다. 釜山港 컨테이너 物流 시스템의 入力要素는 入港船舶의 分布와 船舶當 輸送貨物量의 分布이고, 시스템의 機能은 海上輸送 컨테이너 貨物を 荷役, 移送, 保管 등의 處理過程을 거쳐 陸上輸送 컨테이너 貨物로 變換시키는 것으로, 컨테이너 貨물이 港灣物流過程을 거쳐 貨主의 門前까지 輸送되는 흐름을 갖

고 있으며, 이 過程에서 수반되는 勞動力 割當의 問題와 情報 管理 시스템 및 빈 컨테이너 需給問題는 本 論文의 範圍에서 除外한다.

### 3.2 船舶 入出港 시스템 모델

船舶이 港灣을 入出港 할 때는 潮流, 水深 등의 自然的 條件과 燈臺, 浮漂, 曳船, 그리고 港灣의 慣行 및 規則 등의 人爲的 與件들에 의하여 制限을 받는다. 그 중에서도 船舶入出港 作業에 密接한 影響을 미치는 것은 導船 및 曳船 시스템이다. 必要한 曳船의 數를 決定하는 基準은 曳船巡迴時間(Tug-cycle Time : T<sub>gcy</sub>)과 船席出發時間間隔(Berth Inter-Departure Time : t<sub>bd</sub>)을 比較하는 것이 된다.

船舶의 入出港 패턴에 따라 該當港灣에서의 待期時間의 計算이 달라진다. 만약, 船舶의 到着間隔이 規則적이고 港灣 서비스 패턴이 一定하다면 간단히 待期時間을 計算할 수 있다. 그러나 入出港時間이 一定하게 計劃된 港灣을 除外하고는 港灣에서의 船舶到着 패턴과 서비스 패턴은 一般的으로 確率的(STOCHASTIC)이다. 따라서 船舶의 入出港 시스템을 分析하기 위해서는 船舶의 入出港 및 서비스 패턴이 어떤 分布를 따르는지의 與否를 調査하여서, 特定分布를 따른다는 事實이 檢定되면 그 패턴에 따라 船舶待期時間等を 計算하여야 한다. BCTOC로 入港한 船舶의 到着時間間隔分布는 平均이 5.52 時間이며, 카이스퀘어 檢定結果 自由度 20 에서  $X^2=17.39 < X^2_{\alpha}=0.05=31.41$ 로 95%의 信賴도를 갖고  $Y=e^{-x/5.52}$  인 否指數分布를 따르고 있음이 確認되었다. 船舶의 接岸 서비스 時間分布는 平均이 19.323 時間이며, 카이스퀘어 檢定結果 自由度 25에서  $X^2=7.41 < X^2_{\alpha}=0.05=37.65$ 로 95%의 信賴도를 갖고  $K=4$  인 Erlang 分布를 따르고 있었다. 그러므로 BCTOC의 컨테이너 船舶 入港 및 서비스 패턴은 Poisson Input Erlang Service 임을 알 수 있었다. 따라서 Poisson Input Erlang Service 인 경우 船舶의 待期時間(T<sub>q</sub>)을 구하는 식은 식(3.1)과 같다.

$$T_q = \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \cdot \frac{e_n(\rho I)}{D_{n-1}(\rho I)}$$

$$= \frac{\rho}{\lambda(1-\rho)} \cdot \frac{a^n / I!}{a^n / I! + [(1-a/I) \sum_{n=0}^{I-1} \frac{a^n}{n!}]} \dots\dots (3.1)$$

- λ : 船舶平均到着率 (척/시간)
- μ : 船舶平均서비스率 (척/시간)
- I : 서비스 창구의 수
- ρ : 埠頭利用率 (I · μ)
- a : λ/μ
- e<sub>i</sub> : Poisson 함수
- D<sub>i-1</sub> : 누적 Poisson 함수

식(3.3)에서 ρ가 1에 접근할수록 T<sub>q</sub>는 ∞에 가까워진다. 이 ρ를 埠頭利用率이라 하면 (1-ρ)는 서비스 설비가 쉬는 기간이다. 入港船舶의 平均揚荷 컨테이너 數를 α · W(TEU/ship)이라 했을 때 入港 컨테이너 量은 λ · α · W(TEU)가 되며, 船席數를 I, 船席當 平均 서비스 率을 μ라 하면 埠頭的 平均 컨테이너 서비스 率(μ<sub>s</sub>)은 식(3.2)로 계산된다.

$$\mu_s = I \cdot \mu \cdot \alpha \cdot W \dots\dots\dots (3.2)$$

이때 埠頭的 利用率(ρ)은

$$\rho = \frac{\lambda \cdot \alpha \cdot W}{\mu_s} = \frac{\lambda}{I \cdot \mu} \dots\dots\dots (3.3)$$

이므로, ρ를 增加시키면 船舶의 船席待期時間(T<sub>q</sub>)이 增加하게 되어 待期費用이 增加함으로써 시스템의 效率이 減少한다.

船舶의 入出港時 待期の 發生은 入出港支援시스템의 不足과 接岸할 船席의 不足에 起因한다. 따라서 總待期時間 T<sub>q</sub>는

$$T_q = T_{ig} + T_q \dots\dots\dots (3.4)$$

여기서, T<sub>q</sub> : 總待期時間

T<sub>ig</sub> : 曳船의 不足으로 인한 待期時間

T<sub>q</sub> : 船席의 不足으로 인한 待期時間

### 3.3 港內 荷役, 移送 및 保管 시스템 모델

船舶에서의 時間當揚荷量 r은 식(3.5)로 표현된

다.

$$r = \frac{n_g \cdot W_g \cdot e \cdot k}{c_g} \text{ (TEU/hr)} \dots\dots\dots (3.5)$$

- 여기서 n<sub>g</sub> : 船席當 作業 크레인 數
- c<sub>g</sub> : 크레인의 cycle time (hr)
- e : 크레인의 作業效率
- W<sub>g</sub> : 크레인의 1회 作業 貨物量 (TEU)
- k : 作業 크레인 數 增加에 따른 作業效率

또한 船席에서 保管區域까지 一定速力으로 車輛當貨物 W<sub>t</sub>(TEU/Vehicle)를 移送할 경우 時間當移送量 s는 식(3.6)과 같다.

$$s = \frac{\rho_t \cdot n_t \cdot W_t}{T_c + \frac{2d_t}{V_t}} \text{ (TEU/hr)} \dots\dots\dots (3.6)$$

- 여기서 ρ<sub>t</sub> : 車輛의 使用率
- n<sub>t</sub> : 車輛數
- W<sub>t</sub> : 1회 移送 貨物量 (TEU/Vehicle)
- T<sub>c</sub> : 車輛 한대분 貨物의 揚荷時間(hr)
- d<sub>t</sub> : 移送距離 (km)
- V<sub>t</sub> : 車輛走行速力(km/hr)

式(3.6)은 車輛數와 車輛의 速力이 서로 獨立의인 경우에 成立하는데, 일반적으로 運行區間에서 車輛數가 增加함에 따라 車輛의 走行速力은 漸次 減少한다. 車輛數의 限界值를 n<sub>tm</sub>, 車輛 한대의 最大速力을 V<sub>tm</sub>이라 둘 때, 車輛速力과 車輛數의 關係는 路面狀態, 運轉技術, 車種 등 여러 要因에 따라 달라질 것이다. 어쨌든 車輛數의 增加는 車輛速力을 抑制시키는 要素가 된다고 할 수 있다. 車輛數가 增加함에 따라 速力이 線形的으로 減少한다면 車輛數와 速力과의 關係는 식(3.7)로 표현된다.

$$V_t = -\frac{V_{tm}}{n_{tm} - 1} \cdot (n_t - N_{tm}) \dots\dots\dots (3.7)$$

또한 式(3.7)이 n<sub>t</sub>=0 일 때에도 V<sub>t</sub>=V<sub>tm</sub>이 된다고 假定하여 式(3.6)과 式(3.7)을 結合하면 移送率 s는 식(3.8)과 같다.

$$s = \frac{\rho_t \cdot n_t \cdot W_t}{T_c + \frac{2d_t}{\frac{V_{tm} \cdot n_t}{n_{tm} - 1} + \frac{V_{tm} \cdot n_{tm}}{n_{tm} - 1}}} \dots\dots\dots (3.7)$$

식(3.8)을 微分하여 0으로 두었을 때  $nt^*$ 의 값을 구할 수 있으며,  $s$ 는  $nt^*(0 \leq nt^* \leq ntm)$ 에서 최대값  $s^*$ 를 갖는다.

그러므로 하루당 埠頭의 서비스 量  $\mu_s$ 는 1일 作業可能時間을  $h$ , 船席占有率을  $\rho$ , 船席數를  $I$ 이라 했을 때,  $r \geq s$  인 경우는 식(3.10)과 같고

$$\mu_s = \rho \cdot I \cdot h \cdot s^* \text{ (TEU/day)} \dots\dots\dots (3.10)$$

$r \leq s$ 인 경우는 식(3.11)과 같다.

$$\mu_s = \rho \cdot I \cdot h \cdot r \text{ (TEU/day)} \dots\dots\dots (3.11)$$

한편, 港內保管區域에서의 1日當 保管容量은 BC-TOC의 경우 식(3.12)로 표시된다.

$$P_s = \frac{A_c \cdot n_c}{a_c \cdot P_k \cdot d_m \cdot \gamma} \text{ (TEU/day)} \dots\dots\dots (3.12)$$

- 여기서  $A_c$  : 保管區域의 面積
- $n_c$  : 컨테이너 藏置數
- $a_c$  : 컨테이너 1 TEU가 차지하는 面積 ( $a_c = 14.86m^2$ )
- $P_k$  : 尖頭率 ( $P_k = 1.3$ )
- $\gamma$  : 分離指數 ( $\gamma = 1.2$ )
- $d_m$  : 平均滯在日數

**3.4 港外 移送 및 保管 시스템 모델**

터미널에서  $i$  Route를 택하여 港外保管區域인 ODCY로 貨物을 移送하는 경우 Cycle Time ( $C_i$ )은,

$$C_i = T_{i1} + T_{i2} + d_i \cdot (1/U_i + 1/V_i) \dots\dots\dots (3.13)$$

- $T_{i1}$  :  $i$  route의 터미널에서 貨物을 上車하는데 걸리는 接續時間
- $T_{i2}$  :  $i$  route의 터미널에서 貨物을 下車하는데 걸리는 接續時間
- $d_i$  :  $i$  route의 터미널과 ODCY 간의 距離

$U_i$  :  $i$  route의 터미널과 ODCY 간의 車輛速力(貨物積載時)

$V_i$  :  $i$  route의 터미널과 ODCY 간의 車輛速力(空車時)

$i$  route의 터미널과 ODCY 간 移送能力( $Z_i$ )은

$$Z_i = \frac{W_i}{C_i} \times m_i \dots\dots\dots (3.7)$$

$W_i$  :  $i$  route의 터미널과 ODCY 간 車輛 1臺의 積載能力

$m_i$  :  $i$  route의 터미널과 ODCY 간 車輛數

로 표현되며  $i$  route의 車輛保有限界值( $m_i$ )는 식(3.15)와 같다.

$$m_i = \left[ \frac{C_i}{\max(T_{i1}, T_{i2})} \right] \dots\dots\dots (3.15)$$

따라서 터미널에서 ODCY까지의 移送能力( $Z_{to}$ )은 식(3.16)로 표시할 수 있다.

$$Z_{to} = \sum_{\text{for all } i} Z_i \dots\dots\dots (3.16)$$

**3.5 內陸連繫輸送 시스템**

$i$ 번째 Route를 택하여 貨物을 輸送하는 경우  $j$ 번째 step의 Cycle Time ( $C_{ij}$ )은 식 (3.17)에 의하여 계산된다.

$$C_{ij} = T_{i(j-1)1} + T_{ij2+dij} \cdot (1/U_{ij} + 1/V_{ij}) \dots\dots\dots (3.17)$$

여기서,  $T_{ij1}$  :  $i$  route의 node  $j$ 에서 貨物을 上車하는데 걸리는 接續時間

$T_{ij2}$  :  $i$  route의 node  $j$ 에서 貨物을 下車하는데 걸리는 接續時間

$d_{ij}$  :  $i$  route의 node( $j-1$ )과 node  $j$  간의 距離

$U_{ij}$  :  $i$  route의 node( $j-1$ )과 node  $j$  간의 車輛速力(貨物積載時)

$V_{ij}$  :  $i$  route의 node( $j-1$ )과 node  $j$  간의 車輛速力(空車時)

$i$  route,  $j$  step에서의 移送能力( $Z_{ij}$ )은

$$Z_{ij} = \frac{W_{ij}}{C_{ij}} \times m_{ij} \dots\dots\dots (3.18)$$

여기서,  $W_{ij}$  : i route의 node(j-1)과 node j 간  
의 車輛 1臺의 積載能力  
 $m_{ij}$  : i route의 node(j-1)과 node j 간  
의 車輛數

로 표현되며 i route의 j step에서의 車輛保有限界  
值( $m_{ij}$ )는

$$m_{ij} = \left[ \frac{C_{ij}}{\max(T_{i(j-1)1}, T_{ij2})} \right] \dots\dots\dots (3.19)$$

로 표현된다.

#### 4. 시스템의 分析

##### 4.1 船舶入出港 및 荷役, 移送, 保管 시스템의 分析

###### (1) 컨테이너 專用埠頭(BCTOC)의 船舶入出 港 시스템 分析

船舶入出港時 入出港支援시스템 能力의 不足으로 不合理한 待期時間이 發生하는지 與否를 알아 보기 위하여 入出港支援시스템의 가장 重要한 要素인 曳船시스템을 시뮬레이션에 의하여 分析한 結果, 低馬力, 中馬力 曳船이 不足하여 待期가 發生하고 있음을 確認하였다. 이 경우 低馬力級 曳船의 日別平均使用回數는 9회, 待期時間은 23분 이고, 中馬力級 曳船의 使用回數는 17회, 待期時間은 8분, 高馬力級 曳船의 使用回數는 15회 待期는 없음을 알 수 있었다. 그런데 1990년 BC-TOC에 寄港한 컨테이너선 1,588 척의 99.3% 가 총톤수 10,000톤 이상의 船舶이고 평균선박톤수가 33,000 GRT 이어서 低馬力 曳船의 影響을 받지 않으며, 高馬力 曳船數가 充分하므로 曳船의 不足으로 인한 船舶의 待期時間 發生可能性은 無視할 程度이다. 따라서 釜山港 入出港 컨테이너 船舶의 待期時間은 接岸을 위한 船席의 不足에 全的으로 起因한다고 볼 수 있다. 그러므로 釜山港 入出港 컨테이너 船舶에 發生하는 待期時間  $T_Q$  는 식(3.4)에서  $T_Q = T_q$ 가 되고,  $T_q$  는 식(3.1)

에 의하여 계산될 수 있다.

船舶平均到着率 는 1/5.52(척/시간)이고, 船席平均 서비스率  $\mu$ 는 1/19.323 (척/시간) 이며, 船席占有率  $\rho = \lambda / I\mu$ ,  $a = \lambda / \mu$ , 서비스 窓口의 수  $I=4$  이므로 BCTOC로 入港하는 船舶의 待期時間  $T_q$  는 28.557 時間이 된다. 따라서 現行 BCTOC의 4개 船席이 갖는 船舶의 到着 패턴과 船席의 서비스 패턴 (POISSON INPUT ERLANG SERVICE) 하에서는 船舶當 待期時間이 28시간 33분 임을 알 수 있다.

같은 條件下에서 船席數를 增加시켰을 경우 待期時間을 計算해 보면,

船席數가 5개일 경우 ( $I=5$ ) 船舶當 待期時間은 14.625 時間,

船席數가 6개일 경우 ( $I=6$ ) 船舶當 待期時間은 6.87 時間,

船席數가 7개일 경우 ( $I=7$ ) 船舶當 大氣時間은 2.95時間,

船席數가 8개일 경우 ( $I=8$ ) 船舶當 待期時間은 0 이 되어 船舶의 待期時間이 1時間 以內로 줄어들어 待期現象이 없어야 하려면 現行 入出港 및 서비스 패턴하에서는 BCTOC의 船席이 8개가 있어야 함을 알 수 있다. 그러나 船席의 追加建設은 大規模 施設과 費用을 隨伴하므로 向後 物動量 變動과 船席의 서비스 能力變化 등에 대한 豫測을 綿密히 先行한 後 決定되어야 할 것이다.

###### (2) BCTOC의 컨테이너 荷役, 移送 및 保管 能力 分析

BCTOC에서의 作業形態는 輸入의 경우 갠트리 크레인(G/C)에 의한 揚荷作業과 야드트랙터(Y/T)에 의한 保管區域으로의 移送作業 그리고 保管區域에서의 保管을 거쳐 內陸으로 連繫輸送하는 4段階의 作業過程을 거치게 되며, 輸出의 境遇는 이와는 逆順의 過程을 거친다.

먼저, 제 1단계인 G/C에 의한 하루당 荷役能力은 船席當 作業 G/C의 數를  $n_g=2$ , G/C數 增加에 따른 作業效率  $k=0.9$ , G/C의 1회 作業貨物量  $W_g=1.58$  TEU (1 VAN=1.581 TEU), G/C의 作業效率  $e=0.75$ , 船席數  $I=4$ , 一日 作業可能時間  $h=20$ , G/C의 cycle time  $C_g=2.5$ 분으로 代入하면,

하루당 서비스율( $\mu_s$ )은 4095.4 TEU/day가 된다. BCTOC의 適正荷役能力基準을 BCTOC로 入港하는 船舶의 待期時間을 1時間 程度로 하는 것이라면, POISSON INPUT ERLANG SERVICE 일 때의 船席占有率은  $\rho=0.44$ (단,  $1/\mu = 19.323$ 時間)가 된다. 따라서 BCTOC 4개 埠頭의 8개 G/C에서 處理할 수 있는 하루당 荷役能力은 식(3.12)에 의하여 1802 TEU/day로 算出되고, 年中無休로 作業할 境遇 年間荷役能力은 65만 8천 TEU/yr가 됨을 알 수 있다. 그런데 現在 BCTOC에는 代替用 1대를 포함한 총 9대의 G/C가 있으므로 1대의 餘裕分으로 荷役率을 G/C 한대분의 30% 정도 증가시킬 수 있으므로 年間荷役能力은 2만 5천 TEU가 增加된 68만 3천 TEU/yr 가 된다. 따라서 컨테이너선이 1時間의 待期時間을 갖는 程度로 船席占有率을 調整하면 船席占有率  $\rho=0.44$ (단,  $1/\mu \rho = 19.323$ 時間)이므로 年間 68만 3천 TEU/yr가 POISSON INPUT ERLANG SERVICE 일 경우 BCTOC의 適正荷役能力이라 할 수 있다. 그리고 BCTOC의 適正荷役能力基準을 BCTOC 로 入港하는 船舶의 待期時間을 2時間 程度로 하는 것이라면, POISSON INPUT ERLANG SERVICE 일 때의 船席占有率은  $\rho=0.52$ (단,  $1/\mu = 19.323$ )이 된다. 따라서 BCTOC 4개 船席의 8개 G/C에서 處理할 수 있는 하루당 荷役能力은 식(3.11)에 의하여 2129.6 TEU/day로 산출되고, 年中無休로 作業할 境遇 年間荷役能力은 77만 7천 TEU/yr가 됨을 알 수 있다. 여기에 BCTOC의 G/C 1대분 2만 9천 TEU를 追加하면 80만 6천 TEU가 된다.

다음으로 船席에서 揚荷한 컨테이너를 保管區域까지 야드트랙터(Y/T)로 移送하는 港内移送能力은 식(3.10)에 의하여 계산할 수 있는데, Y/T의 길이를 PLAN-170DB型的 길이인 5.5미터로 하고, 샷시(C/S)의 길이를 40'로드샷시의 길이인 12.72미터로 하였을 때 Y/T와 C/S의 접속길이 1.5미터를 控除한 移送車輛(Y/T+C/S)의 길이는 16.72미터가 된다. 또한 車輛의 速度를 PLAN-170DB型的 最大速度인 30km/hr로 하고, 車輛間의 距離를 英國道路研究所(ROAD RESEARCH LABORA-

TORY)로부터 報告된 經驗式인  $D_m = 17.5 + 0.139V + 0.0818 V^2$  (단,  $D_m = \text{feet}$ ,  $V = \text{miles/hour}$ ) 에  $V = 30 \text{ km/hr} (= 18.75 \text{ miles/hr})$ 을 대입하여 얻은 14.66 미터로 하면, 車輛 한대의 길이 16.72 미터와 車輛間 距離 14.66 미터를 합한  $L_t$ 값은  $L_t = 31.4$  미터가 된다. 그리고 藏置場의 1회 往復移送距離를  $2d_i = 1200 - 3000$  미터로 두면 車輛數  $n_m (= 2d_i / 31.4) = (38, 95)$ 臺가 된다. 適正車輛數  $n_{tm}^*$ 는  $n_m = 38$  대 일 경우 22 대 이고 식(3.9)에 의한 移送率  $s^*$ 는 232 TEU/hr 이며,  $n_m = 95$  대 일 경우 55 대 이고 移送率  $s^*$ 는 297 TEU/hr 이 됨을 알 수 있다. 현재 BCTOC에는 46 대의 Y/T가 있으므로 1일 作業 可能時間을 20時間으로 할 경우 하루당 移送能力은 5000 $\rho$  정도이다.

그리고 Y/T에 의하여 移送된 컨테이너 貨物을 港外로 移送하기 전까지 保管하는 保管能力은 식(3.12)에 의하여 계산할 수 있는데, 一時藏置能力  $P_c$ 를  $P_c = A_c \cdot n_c / a_c$ 로 두었을 때, Full 컨테이너의 14,098 TEU 와 Empty 컨테이너의 3,010 TEU를 합한 17,108 TEU의 컨테이너를 BCTOC 藏置場에 一時藏置할 수 있는 一般 컨테이너의 一時藏置能力이라 두고 分析하기로 한다. 여기서 CFS 및 Empty 藏置地域의 832 TEU, 鐵送藏置地域의 225 TEU, 特殊 컨테이너 藏置場의 90개 등의 藏置能力은 分析에서는 除外한다.

式(3.12)에서 1日當 保管容量  $P_s$ 는,  $P_s = P / (P_k \cdot \gamma \cdot d_m)$ 이 되므로, 尖頭率  $P_k$ 를  $P_k = 1.3$ , 分離指數를  $\gamma = 1.2$ , 平均滯在日數  $d_m$ 을 1일 부터 7일까지 變化한다고 두었을 때  $P_s$ 는,  $P_s = 10966 / d_m$  TEU/day 가 된다.

1990년 BOTOC의 연간 컨테이너 處理實績이 130만 TEU/yr이었고, 그때 平均藏置日이 輸入時 3.20일, 輸出時 2.38일로 總平均 2.75日인 바 BCTOC의 藏置許容日數인 輸出 4日, 輸入 5日 동안도 滯在할 수 없을 程度로 保管能力이 不足하여 滯在日數를 무리하게 줄여야 했음을 알 수 있다. 이렇게 保管能力이 不足할 경우는 港外直送率을 높이거나 在來埠頭 또는 他港으로의 貨物配分 등의 措置가 要求된다.



4.2 港外 移送, 保管 및 內陸輸送 시스템 分析

(1) 港外移送率 增加를 통한 港內保管能力 不足의 解消

釜山港은 컨테이너 保管能力이 不足하여 港外 保管區域인 ODCY로 컨테이너 貨物을 移送하여 保管하였다가 受荷主의 要請으로 內陸輸送되거나 그 亦의 過程을 거쳐 輸出되고 있다. 港內에서의 컨테이너 貨物保管能力이 不足할 경우 貯藏用 地를 擴張하는 問題는 大部分의 港灣에서는 大단히 어려우며 특히 釜山港의 경우는 거의 不可能 할 程度이므로 컨테이너 貨物 處理能力을 增加시키기 위해서는 港內保管期間을 短縮시킴으로써 서비스率을 높이든지 또는 港外保管區域으로의 直送率을 높임으로써 서비스율을 改善하여야 한다. 保管容量이 不足한 경우에 있어서 港灣의 處理能力은 港內保管能力과 港外保管區域으로의 直送能力을 합한 값이 된다. 즉, 하루당 港灣의 서비스 能力  $\mu_s$ 는 식(4.1)로 표시된다.

$$\mu_s = \frac{P_s}{d_m} + D_i \quad (\text{TEU/Day}) \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

- $\mu_s$  : 平均 港灣 서비스 율
- $P_s$  : 하루당 港內保管能力
- $d_m$  : 港內保管區域에서의 貨物平均滯在日數
- $D_i$  : 하루당 港外直送量

이때 埠頭利用率  $\rho$ 는 식(4.2)와 같다.

$$\rho = \frac{\gamma \cdot \alpha \cdot W}{\mu_s} = \frac{\lambda \cdot \alpha \cdot W}{\frac{P_s}{d_m} + D_i} \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

여기서  $\lambda > D_i/\alpha \cdot W$ 일 경우, 式(4.2)로 부터  $\rho$ 를 1로 두고 계산하면  $d_m$ 에 대한 限界值  $d_c$ 를 式(4.3)에 의하여 계산할 수 있다.

$$d_c = \frac{P_s}{\lambda \cdot \alpha \cdot W - D_i} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

다른 條件의 變動이 없을때 港內 保管 컨테이너 貨物의 平均滯在길이 限界值  $d_c$ 보다 크게 되면 待期는 發散한다. 港內保管能力이 不足하여

平均滯在길이를 줄여도 船舶待期가 適正水準으로 減少하지 않을 경우에는 港外移送能力을 增加시켜야 한다. 지금 入港船舶隻數  $\lambda$ , 隻當컨테이너 貨物  $\alpha \cdot W$ , 保管容量  $P_s$ , 貨物平均滯在日數  $d_m$ , 港外移送率  $D_i$ 인 시스템에  $\Delta\lambda$ 만큼의 船舶이 追加됨으로써 增加시켜야 할 港外移送量 變化分  $\Delta D_i$ 를 구해 보면 먼저, 港外移送量을 增加시켜서 埠頭利用率  $\rho$ 를 減少시킬 수 있고 減少以前을  $\rho_1$ , 以後를  $\rho_2$ 로 표현할 수 있을 경우  $\Delta D_i$ 는,

$$\Delta D_i = \frac{\Delta\lambda \cdot \alpha \cdot W}{\rho_2} + \left( \frac{P_s}{d_m} + D_i \right) \left( \frac{\rho_1}{\rho_2} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

로 나타낼 수 있으며, 港外移送量의 增加가 埠頭利用率  $\rho$ 를 維持하는 水準일 경우 式(4.4)에서  $\rho_1 = \rho_2$ 이므로  $\Delta D_i$ 는 式(4.5)가 된다.

$$\Delta D_i = \frac{\Delta\lambda \cdot \alpha \cdot W}{\rho} \quad \dots\dots\dots (4.5)$$

(2) 港外 移送, 保管 및 內陸輸送 시스템 分析

都市交通의 影響에 의하여 式(3.13)의 車輛速力이 決定되므로 都市交通의 滯症 등으로 輸送車輛의 速力  $U_i, V_i$ 가 減少하면 Cycle Time( $C_i$ )이 增加하고, 式(3.14)에서 Cycle Time이 增加함으로써 港外移送能力  $Z_i$ 가 減少하게 되며, 港外移送能力을 增加시키기 위해서는 Cycle Time에 比例하여 式(3.15)에 의한 保有車輛數  $m_i$ 를 增加시켜야 되므로 車輛數의 增加로 인한 都市交通의 滯症增加 때문에 Cycle Time이 增加하는 惡循環을 낳게 되어 港外移送能力은 계속 떨어지고 車輛效率의 減少에 따른 輸送效率 減少로 輸送費用의 增加를 招來하게 된다. 특히 1988년 2월 부터 BOTOC의 藏置許容期間이 國籍船社에게도 外國籍 船社와 같이 輸出 4日, 輸入 5日로 短縮되게 되자 ODCY를 經由하는 物動量이 輻輳하게 되고 그 만큼 交通量이 增加함으로써 가뜩이나 심한 釜山市의 道路交通에 交通混雜이 加重되고 있다.

### 4.3 시스템의 效率化

釜山港 物流시스템을 效率化하기 위해서는 시스템 入力要素인 컨테이너 貨物이 시스템의 各過程을 거쳐 다른 輸送 모드(Transport Mode)로 變換되는 過程을 分析하여 어디서 병목(Bottleneck) 현상이 발생하는가를 파악하고 병목현상이 가장 심한 부분부터 개선해야 한다. 釜山港 컨테이너 物流시스템의 分析結果 병목현상이 심한 구간은 먼저, 接岸船席의 不足으로 인하여 심한 待期現象을 보이는 船席에서의 荷役 시스템이며, 다음으로는 港內保管區域의 不足으로 인하여 大部分의 컨테이너 貨物이 短期間內에 港外保管區域으로 移送됨으로써 惹起되는 병목현상을 들 수 있다. 세번째 병목현상은 釜山市 都市交通의 輻輳로 인한 內陸連繫輸送시스템의 能力不足으로 發生한다. 따라서 주어진 시스템의 最適化는 各副次 시스템이 改善된 후 시스템에 병목현상이 일어나지 않으므로써 이루어 진다.

#### (1) 接岸待期時間을 考慮한 必要船席의 算出

1990년 釜山港을 통하여 輸出入한 컨테이너 貨物은 227만 TEU이며 그중 57%인 130만 TEU는 BCTOC에서, 나머지 97만 TEU는 在來埠頭에서 처리하였는 바, 이는 BCTOC와 在來埠頭 公히 入出港 船舶에게 심한 待期時間을 賦課하는 무리한 運營이었음을 알 수 있다. 따라서 接岸待期時間을 1시간 정도로 할 경우 同貨物을 처리하기 위한 船席數를 산출하기로 한다. 먼저 在來埠頭에서의 컨테이너 貨物 處理能力을 公稱處理能力인 36만 TEU라 하고 BCTOC의 處理能力을 4.1절에서 산출한 68만3천 TEU라 하면, 必要船席은 227만 TEU에서 在來埠頭와 BCTOC의 處理能力分을 除外한 輸出入貨物 123만 TEU와 23만 TEU 정도의 T/S화물을 포함한 약 146만 TEU의 處理能力에 해당하는 水準이다. 추가로 필요한 船席의 水準을 現行 BCTOC의 處理能力을 갖는 정도로 한다면 年中無休로 作業할 경우 追加船席 1船座當 年間 420, 480  $\rho$  TEU/yr의 荷役能力을 갖는다. 식(3.1)으로부터 船舶待期時間이 1時間으로 不變일 경우 船席數 N이 增加할수록 船席使用率  $\rho$ 가 增加하

므로 146만 TEU의 處理能力을 追加하기 위해서는 既存 BCTOC의 4개 船席에 追加하여 4개 船席의 建設이 必要하며 이때 船席使用率  $\rho$ 는 식(3.1)에 의하여  $\rho=0.65$ 가 되어 船席의 追加建設로 인한 컨테이너 專用埠頭的 總荷役能力은 218만6천 TEU가 된다. 이렇게 되면 在來埠頭에서 36만 TEU, BCTOC와 追加船席의 8船席에서 218만6천 TEU를 처리할 수 있게 되어 釜山港의 輸出入 貨物 227만 TEU와 T/S 화물 23만 TEU를 합한 250만 TEU의 컨테이너 화물을 처리할 수 있게 된다.

#### (2) 도시시스템을 고려한 항외보관 및 내륙연계수송 시스템의 효율화

OFF-DOCK CY가 埠頭 CY의 부족한 藏置保管機能을 보조하는 수단으로 생성된 이래 화물의 集貨分類機能 및 內陸 터미널 機能, 通關機能, 컨테이너 및 裝備의 整備補修機能 등 컨테이너 輸送 體系上 중요한 役割을 수행하고 있다. 더우기, 현재 BCTOC가 釜山港 컨테이너 물동량의 급증으로 인한 埠頭運營의 효율을 도모하기 위하여 藏置許容期間을 대폭 축소하여 운영하고 있음으로 인하여 부산시내에 산재한 ODCY의 역할은 더욱 커지고 있음은 자명한 사실이다. 이와같은 점에도 불구하고 ODCY의 산재는 부산지역 교통난 가중 및 도시개발상 효율적인 토지이용 저해, 도시미관의 저해 등 부산시의 도시행정상 여러가지 문제점을 야기시키는 요인으로 작용하고 있으며, 나아가 물적 및 인적 요소의 효율저하로 추가비용발생, 港灣운송과정에 대한 통제기능의 저하 등 物流시스템의 비능률을 초래하여 국가경제적 측면에서도 많은 손실을 발생하고 있는 바, 이를 종합적으로 해결하기 위한 내륙컨테이너수송기지(ICD : Inland Container Depot)의 건설 등이 필요하다. ICD를 건설할 경우 컨테이너輸送專用路線 등의 건설로 차량의 속력이 증가하리라 기대되므로 식(3.17)에서  $U_{ij}$ 와  $V_{ij}$ 가 증가하게 되고 따라서 이송시간이 절감되며 이송시간이 절감됨으로써 식(3.18)에 의한 이송능력  $Z_{ij}$ 가 증가된다. 또한, ODCY를 거치지 않고 ICD로 직송될 경우 불필요한 이송단계를 줄이게 되어 전체과정의

輸送時間節減效果를 가져온다.

### 5. 물류 시스템의 비용분석

#### 5.1 물류비용 모델

부산항을 경유하는 컨테이너 화물의 物流費는 복합적인 요소에 의하여 발생되므로 명확한 항목별 구분은 어려우나 컨테이너 화물의 物流過程을 시스템적으로 分析하기 위한 시스템 요소를 선박 입출항 비용과 부두에서의 하역·이송·보관 비용 그리고 항외 이송·보관 및 내륙수송 비용 등으로 나누어 시스템 모델을 설계하기로 한다. 먼저 컨테이너 화물의 해상 수송을 위한 선박의 港稅는 통신비, 입출항 수수료, 정박료, 통선료, 입항료, 접안료, 도선료, 예선료, 강취방료, 등대 사용료, 본선 경비료, 청소비 등을 등록톤당 또는 화물톤당 비용으로 징수하고 있으며, 터미널 운용비는 본선 하역료, 선창 개폐료, 결속대, 검수료, 크레인 사용료 등의 본선 작업비와 부두 사용료, CY 조작료, 화물 경비료 등의 터미널 야드 작업비, 노조기금, 세관 특허료 등을 징수한다. 그리고 항내 하역, 이송 및 보관비는 컨테이너 전용부두인 BCTOC와 재래부두에서 각각 상이하게 징수하고 있으며, 컨테이너 화물의 荷役時點과 수송 경로의 특성에 따라 Free Period 및 運賃水準이 조금씩 차이가 있다. 또한 항외 이송, 보관 및 내륙 수송비는 철송인 경우 上行과 下行이 다르며, 陸送의 경우 컨테이너 陸送料率은 왕복운임 적용이 원칙이지만, 부산 CY에서 경인 지역간 육송요율은 화물 수입시 船社가 경인지역의 내륙 CD 및 CY 설치를 인정하고 빈 컨테이너를 장치할 경우와 화물 수출시 경인지역 CD 및 CY에 장치된 빈 컨테이너를 사용했을 경우에 한해서는 약정된 片道料率을 적용하고 있다. 모델 구성은, 기본 모델을 구성한 후에, 선박의 폭주 및 都市交通滯症을 고려한 부산항 컨테이너 부두의 처리수준을 산정하는 모델을 구성한다. 기본 모델 구성에서 선박 입출항비, 선박 하역비, 항내 이송·보관비, 항외 이송·보관비, 내륙수송비를 고려하여 연간 총

물류비를 구하는 式은 다음과 같다.

$$F = E + H + P + O + T \\ = (A / (\alpha \cdot W)) \cdot u + (A / W) \cdot c + n \cdot W \cdot v + n \cdot (W / b) \cdot p + n \cdot (W / b) \cdot t \dots\dots\dots (5.1)$$

여기서,

- F : 연간 총 물류비
- E : 입출항비 ( $E = A \cdot u / (\alpha \cdot W)$ )
- H : 선박하역시(선박하역비( $H = A \cdot c / w$ ))
- P : 항내 이송 및 보관비( $P = n \cdot W \cdot v$ )
- O : 항외 이송 보관비( $O = n \cdot (W / b) \cdot p$ )
- T : 내륙수송비( $T = n \cdot (W / b) \cdot t$ )
- W : 1회 화물 하역량(VAN/ship)
- $\alpha$  : 선박의 수송화물 계수
- $\alpha \cdot W$  : 선박의 1회 수송량
- n : 연간 총 하역회수
- A : 연간 총 컨테이너 물동량(VAN/yr)
- b : 차량의 1회 컨테이너 이송 및 수송량(VAN/vehicle)
- u : 선박의 1회 입출항비(원/ship)
- c : 화물의 1회 하역비(원/ship)
- v : 컨테이너 1VAN의 항내 이송비(원/VAN)
- p : 차량의 1회 컨테이너 이송·보관비(원/vehicle)
- t : 차량의 1회 컨테이너 수송비(원/vehicle)

식(5.1)을 선박의 1회 하역량인 W로 편미분하여 최적 1회 하역량 W\*를 구하면,

$$\therefore W^* = \left( \frac{A \cdot b \cdot (u/\alpha + c)}{n(b \cdot v + p + t)} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (5.2)$$

가 되어 최적 1회 하역량이 결정된다. 따라서, 최적 연간 하역량은

$$Q^* = W^* \cdot N \dots\dots\dots (5.3)$$

- Q\* : 최적 연간 하역량
- W\* : 최적 1회 하역량
- N : 연간 선석접안가능회수

가 된다. 여기에 선박의 폭주로 인한 대기비용과 항외이송 및 내륙수송시 도시교통 체증에 의한 車輛遲延費用을 고려한 年間總物流費 G를 구하

는 식은 아래와 같다.

$$G = A \cdot (u + q_1) / (\alpha \cdot W) + A \cdot c / W + n \cdot W \cdot v + n \cdot W \cdot (p + t + q_2) / b$$

$$= \frac{A \cdot ((u + q_1) / \alpha + c)}{W + n \cdot W \cdot (v + \frac{p + t + q_2}{b})} \dots \dots \dots (5.4)$$

- W : 1회 화물 하역량(VAN/ship)
- α : 선박의 수송화물 계수
- α · W : 선박의 1회 수송 화물량
- n : 年間總荷役回數
- A : 연간 총 컨테이너 물동량(VAN)
- b : 차량의 1회 컨테이너 이송 및 수송량(VAN/vehicle)
- u : 선박의 1회 입출항비(원/ship)
- c : 화물의 1회 하역비(원/ship)
- v : 컨테이너 1 VAN의 항내 이송비(원/VAN)
- p : 차량의 1회 컨테이너 이송 보관비(원/vehicle)
- t : 차량의 1회 컨테이너 수송비(원/vehicle)
- q<sub>1</sub> : 선박 1척의 폭주비용
- q<sub>2</sub> : 차량 1대의 폭주비용

식(5.4)를 편미분하여 폭주비용을 고려한 1회 최적하역량 W\*\*를 구하면,

$$\therefore W^{**} = \left( \frac{A \cdot b \cdot ((u + q_1) / \alpha + c)}{n(b \cdot v + p + t + q_2)} \right)^{1/2} \dots \dots \dots (5.5)$$

따라서, 폭주비용을 고려한 최적 연간 하역량은 아래와 같다.

$$Q^{**} = W^{**} \cdot N \dots \dots \dots (5.6)$$

- Q\*\* : 폭주를 고려한 최적 연간 하역량
- W\*\* : 폭주를 고려한 최적 1회 하역량
- N : 연간 선석접안가능회

## 5.2 선박 입출항 비용

선박이 부산항에 입출항 할 때는 아래와 같은 비용을 항만당국에 지불한다.

### (1) 입항료 (Port Due)

매 선박 입항시 지불하는 비용으로 선박의 총 톤수(GRT)를 Gt라 두면 다음 식에 의하여 계산된다.

$$\text{입항료} = 113\text{원} \times Gt \times 0.9^{*1)}$$

### (2) 정박료 (Anchorage)

입출항 선박이 묘박지(Anchorage)를 사용할 경우 지불하는 비용으로 선석대기 및 황천피항시는 無料이다. 사용시간단위는 12시간이 1 term이며 총시간을 12로 나누어 남는 시간은 다시 6시간으로 나누어 0.5 term으로 하고 나머지 시간은 0.5 term으로 간주한다. 정박료는 다음과 같이 계산한다.

$$\text{정박료} = 158\text{원} \times Gt \times 0.1 \times 0.9^{*1)} \times \text{term}$$

### (3) 접안료 (Dockage)

선박의 접안시 지불하는 비용으로 다음과 같이 계산한다.

$$\text{접안료} = 301\text{원} \times Gt \times 0.1 \times 0.9^{*1)} \times \text{term}$$

### (4) 예선료 (Towage)

선박이 입출항시 사용하는 예선(Tugboat)의 수와 크기에 따라 달리 지불하는 비용으로 3만 GRT-5만 GRT의 컨테이너선은 통상 2-3척의 예선을 사용하며, 매회 사용예선 적당 평균 40만원 정도를 지불한다.

### (5) 도선료 (Pilotage)

선박입출항시 도선사에 의한 도선시 지불하는 비용으로 30,000-40,000 GRT 級의 컨테이너선은 통상 매회 선박당 50만원 정도 지불한다.

부산항에 입출항한 선박의 연간 입출항비는 입항료와 접안료 그리고 예선료 및 도선료를 기본

주1) 부산항에 입항하는 회수가 Bulk carrier일 경우 3회, 컨테이너 선박일 경우 4회 이상이 될 경우 요금의 10%가 할입됨.

비로 한다. 현행 부산항에서는 선석 부족으로 인한 접안 대기 목적을 목적으로 목박지에서 정박할 경우 정박료는 면제되므로 비용항목에서 정박료는 제외한다. 따라서 부산항 입출항 선박의 1990년 1년간 입출항비 E 는

$$E = A \cdot u / (\alpha \cdot W) = 3,039 \times 7,305,337 \text{ (원)}$$

$$= 22,200,919,140 \text{ (원)}$$

이다. 이때 연간 총 컨테이너 물동량 A는 1,572,706VAN 이고, 평균선박의 1회 수출입 화물 수송량  $\alpha \cdot W$ 는 517.5VAN(819TEU)이므로, 입출항비 u는 7,305,337 원이다.

### 5.3 하역, 이송 및 보관 비용

#### (1) 항내 하역비

부산항의 컨테이너화물 처리는 BCTOC와 재래부두로 나뉘어 있으므로 각각 2분하여 분석하기로 한다.

##### 가) 컨테이너 전용부두(BCTOC)

BCTOC는 5, 6부두에 4개의 선석을 갖추고 있다. BCTOC의 기본료는 본선하역료와 마살링료를 합한 값이다. 여기에 移船積(T/S), 移積(shifting) 등의 추가작업이 있을 때 마다 비용이 추가되며 항내보관료는 일반 컨테이너일 경우 수입 5일 수출 4일, 보세운송일 경우 수입 7일 수출 5일 동안은 무료이지만 Free Period가 경과한 후 부터는 누진적으로 요금이 증가한다. BCTOC에서의 하역비는 본선하역료와 마살링료를 계산하면 된다. 따라서 1990년 BCTOC에서 처리한 수출입 컨테이너 130만 TEU(822,227 VAN)의 항내하역비  $H_1$ 은 積空比가 20'컨테이너는 85 : 15 이고 40'컨테이너는 86 : 14 이며, 20' : 40' = 42 : 58 이므로

$$H_1 = AH_1 \cdot c'_1 / W'$$

$$= 34,827,891,260 \text{ (원)}$$

여기서,  $H_1$  : BCTOC에서의 항내 하역비

$AH_1$  : BCTOC의 연간 총 컨테이너 물동량(822,227 VAN)

$W'$  : 선박의 1회 수송 화물량( $W' = \alpha \cdot W = 517.5 \text{ VAN}$ )

$$c'_1 : \text{선박의 1회 하역비}(c'_1 = \alpha \cdot c_1 = 21,920,265 \text{ 원})$$

#### 나) 재래부두

재래부두는 1,2,3,4 및 중앙부두이며 공칭 컨테이너 처리능력은 5선석을 컨테이너선에 할당할 경우 36만 TEU인데 반하여 1990년 컨테이너 처리실적은 97만 TEU로 상당량을 초과처리하였다. 재래부두에서는 피더선에 의해 인천까지 연안수송되는 일부 컨테이너화물을 제외하고는 대부분의 화물이 직상차되어 선적 또는 양하되므로 재래부두 내에서의 하역, 이송 및 보관비는 터미널 기본비만 계산하면 된다. 1990년 재래부두에서 처리한 수출입 컨테이너 972,787 TEU (750,479 VAN)의 항내 하역, 이송 및 보관비  $H_2$ 는 積空比가 20'와 40' 공히 86 : 14 이며, 20' 컨테이너 대 40' 컨테이너의 비율이 30 : 70 이므로

$$H_2 = AH_2 \cdot c'_2 / W'$$

$$= 31,919,673,010 \text{ (원)}$$

여기서,  $H_2$  : 재래부두에서의 항내 하역비

$AH_2$  : 재래부두의 연간 총 컨테이너 물동량(750,479 VAN)

$W'$  : 선박의 1회 수송 화물량( $W' = \alpha \cdot W = 517.5 \text{ VAN}$ )

$$c'_2 : \text{선박의 1회 하역비}(c'_2 = \alpha \cdot c_2 = 22,010,517 \text{ 원})$$

#### (2) 항내 이송 보관비

재래부두내에서의 이송·보관비는 대부분의 화물이 직상차되어 항의 이송되므로 무시하고, BCTOC에서의 항내 이송·보관비만 고려하면 된다.

BCTOC의 컨테이너 화물은 80% 정도가 ODCY를 경유하여 수송되므로 CFS 또는 BCTOC 철송지역을 경유하여 직반출되거나 보세운송으로 직송되는 20% 정도의 컨테이너 화물만이 항내 이송을 하게 된다. 그리고 대부분의 수출입 화물이 Free Period 이내에 처리되므로 BCTOC 컨테이너 화물의 20%에 대한 구내 이적비만 계산하면 된다. 따라서 항내 이송·보관비 P는 20' 컨테이너 대 40' 컨테이너의 비율이 42 : 58 이므로

$$P = n' \cdot W' \cdot v \cdot 0.2$$

$$= 1,765,369,278(\text{원})$$

여기서, P : 항내 이송·보관비  
 n' : 연간 BCTOC의 총 선박 하역회수  
 (n'=n/=1588 회)  
 W' : 선박의 1회 하역량(W'=α · W=517.5 VAN/ship)  
 v : 차량의 1회 항내이송비(10,741 원)

(3) 항외 이송 및 보관 비용

부산항 컨테이너의 보관기능을 보강하기 위하여 생기기 시작한 Off Dock CY는 부산항이 폭주하여 인하여 On-Dock CY가 거의 보관기능을 못하게 되자 BCTOC 컨테이너의 80%와 재래부두 화물의 전량이 ODCY의 보관기능에 의존하게 되어 부산항을 경유하는 전체 수출입 컨테이너 화물의 88.5%가 ODCY를 경유하고 있다. 부산항 주변의 ODCY는 1990년 1월 기준으로 BCTOC로부터 16km 이내에 16개 업체가 운영하는 34개소가 산재하고 있으며 총면적 1,208,466m<sup>2</sup>(365,549 평) 중 88%를 CY로 12%를 CFS로 운용하고 있다.<sup>2)</sup> 항만에서 항외보관구역인 ODCY까지의 이송은 港灣背後都市인 부산시의 주요 간선도로를 경유해야 하므로 항내 이송의 경우와는 달리 도시교통로에서의 다른 車輛通行과 연관시켜서 고려하여야 한다. 釜山市 都市交通輻輳에 의한 영향을 제외한 항외 이송·보관 비용을 분석하기로 한다. ODCY에서의 보관비는 無料이나 10일간 보관을 원칙으로 하며 보관연장 신청을 통하여 10일간 연장할 수 있지만 그 이상은 원칙적으로 不可하다. ODCY로의 이송 및 보관비 O 는 이송비만 고려하면 되므로,

$$O = n' \cdot (W'b) \cdot p \cdot 0.885$$

$$= 37,402,486,670(\text{원})$$

여기서,

O : 항외 이송·보관비  
 n' : 연간 총 선박 하역회수(n'=n/=3039 회)

W' : 선박의 1회 하역량(W'=α · W=517.5 VAN/ship)  
 b : 1회 차량 항외이송량(1 VAN/vehicle)  
 p : 1회 차량 항외이송비(26,873 원)

5.4 內陸輸送費用

부산항을 경유하는 컨테이너 화물의 圈域別 輸送費는 京仁圈과 釜山圈이 전체 컨테이너 화물의 60%를 차지하고 있다. 한편, 鐵送貨物은 부곡 ICD에서 下行(부곡→부산) 컨테이너량이 108,600 TEU, 上行(부산→부곡) 컨테이너량이 138,000 TEU, 합계 약 25만 TEU(154,125VAN)로 전체 컨테이너 화물의 10%, 경인지역 화물의 33%를 차지하고 있다. 京仁地域 鐵送料金은 上行인 경우 40' 컨테이너가 231,042원, 20' 컨테이너가 140,121 원 이며, 下行인 경우 40' 컨테이너가 152,562원, 20' 컨테이너가 123,311원 이다. 40' 컨테이너와 20' 컨테이너의 비율은 44.5 : 55.5이고 上行量과 下行量의 비율은 56 : 44이므로 1VAN 당 평균 鐵送料는 170,996원이다. 그런데, 鐵送貨物은 부곡 ICD에서 貨主의 倉庫까지 Local 輸送이 추가되므로 Local 料金を 수송비에 추가하여야 한다. Local料率은 40' 컨테이너가 79,180원이고 20' 컨테이너가 59,920원이므로 1VAN당 평균 68,490원을 추가한 229,600원이 1VAN 당 평균 鐵送經路 수송비이며, 鐵送을 통한 총 수송비용은 35,387,100,000원이 된다. 全國의 컨테이너 화물 비율에 의한 컨테이너 1 VAN 당 수송비 t는 252,800원 이므로 내륙 수송비 T는

$$T = n' \cdot (w'/b) \cdot t$$

$$= 397,574,136,000(\text{원})$$

여기서, n' : 연간 총 선박 하역회수(n'=n/=3039 회)  
 W' : 선박의 1회 하역량(W'=α · W=517.5 VAN/ship)  
 b : 1회 차량 수송량 (1 VAN / Vehicle)  
 t : 1회 차량 수송비 (252,800원)

以上에서 살펴 본 각 부차 시스템의 物流費 構成比는 입출항비가 22,200,919,140원으로 4.2%, 항내하역비가 66,747,564,270원으로 12.7%, 이송 및 보관비가 39,167,855,948 원으로 7.5%, 내륙 수송비가 397,574,136,000원으로 75.6% 를 차지하고 있었다.

5.5 폭주비용

(1) 입출항 선박의 待期費用

BCTOC로 입항하는 선박의 대기시간( $T_q$ )은 POISSON INPUT ERLANG SERVICE 패턴에 따르면 式(3.3)에 의하여 계산된다. 즉,  $T_q$  는 28 시간 33분이 된다. 따라서 BCTOC로 入항하는 선박의 接岸待機時間費用을 계산하기 위한 式은 다음과 같다.

$$C_{Q1} = (A/\alpha \cdot W) \cdot q_1 = (A/\alpha \cdot W) \cdot H_B \cdot T_q \dots\dots\dots (5.7)$$

- $C_{Q1}$  : 연간 BCTOC 총 선박 대기시간 비용
- A : 연간 BCTOC 총 컨테이너 물동량 (130만 TEU/yr)
- $\alpha \cdot W$  : 선박 1척 컨테이너 수송량 (819 TEU/Ship)
- $q_1$  : 선박 1척의 대기시간 비용 (33,740.15 \$/Ship)
- $H_B$  : 선박 1척의 Hire Base(H/B)의 시간당 환산치 (1,181.8 \$/hr/Ship)

式(5.7)에서 선박의 대기시간비용을 계산하기 위해서는 선박의 평균 가치를 설정하여야 하는바, 본 논문에서는 상선에 대하여 통상 1년간에 필요한 船費(감가상각비,보험료 등의 資本費, 선원비,선용품비 등의 經常費를 합한 費用)를 그 선박의 연간 가동일 수 1개월당 1중량톤당으로 환산한 Hire Base(H/B) 개념을 사용하기로 한다. 우리나라 컨테이너선의 Hire Base(H/B)를 1990년을 기준하여 1日當으로 환산한 예를 보면, 부산항을 정기적으로 入출항하는 43,224 DWT級(36,420 GRT) 컨테이너 선(2,680 TEU)이 30,883 \$/day 였으며 33,000 GRT級 컨테이너 선에 대한 Hire Base를 시간당으로 환산하면 28363/24=1,

181.8 \$/hr 이며, 연간 BCTOC의 컨테이너 물동량은 130만 TEU/hr, 선박의 1회 컨테이너 수송량은 819TEU/Ship, 선박 1척의 평균대기시간은 28.55 시간, 130만 TEU를 하역하기 위한 선석점유율은 0.05175척/hr 이므로 선박 1척의 대기시간비용( $q_1$ )은 33,740.14 \$/Ship이다. 따라서, 式(4.1)로 부터 BCTOC로 入항하는 선박의 接岸대기로 인한 시간비용  $C_{Q1}$ 은,

$$C_{Q1} = 53,579,361.5 (\$/yr) = 37,505,553,050 (\text{원}/yr)$$

(2) 陸送 車輛의 都市交通에 의한 幅奏費用

교통 체증으로 인한 차량속도 감소는 연료 소모를 증가시킨다. 보통 都市에서 도로는 車輛密度가 車線當 300臺(pcu)미만일 경우 시속 48km 以上으로 주행할 수 있으나, 750臺 以上 늘어나면 시속 17km 以下로 떨어진다. 1990년 초 부산시내의 peak 時 평균차속은 16km/hr 이므로 컨테이너 수송차량이 48km/hr 로 주행할 때 보다 km당 146.5원이 peak 時 폭주로 인한 지연비용으로 소비된다. 폭주로 인한 평균시간 비용은 peak 值的 3분의 2 정도로 잡으면 되므로 컨테이너 수송거리를 평균 16km로 하고 공차율을 37.5% 로 하였을 경우 폭주로 인한 컨테이너 1 VAN의 수송시 폭주비용은 다음과 같다.

$$q_2 = 146.5 \times 16 \times (2/3) / 0.625 = 2500 (\text{원})$$

5.6 費用分析에 의한 시스템의 最適處理水準

(1) BCTOC의 컨테이너 最適處理水準

폭주비용을 고려하지 않은 상태에서 BCTOC의 물류비용을 최소화하기 위한 最適一回荷役量  $W^*$  를 式(5.2)로 부터  $v+p/b = V_p$ 로 하여 구하면,

$$W^* = \frac{A \cdot (u/\alpha + c)}{n(V_p + t/b)}^{1/2} = 9393 \sqrt{\alpha/n} \text{ VAN} \dots\dots\dots (5.8)$$

- 여기서, A : 822,227 VAN(130만 TEU)
- u : 7,744,040원
- c : 21,920,265원

$V_p$  : 23,647원  
 $t$  : 252,800원

이 된다. 이 때 船舶當 時間當 荷役能力  $r$ 은 식(3.7)로 부터,

$$r = \frac{n_c \cdot W_c \cdot e \cdot k}{c}$$

$$= 32.4 \text{ (VAN/berth/hr)}$$

여기서,  $n_c$  : 1선석의 크레인 수 ( $n_c=2$ )  
 $W_c$  : 크레인의 1회 화물 작업량 (1VAN = 1.58TEU)  
 $e$  : 크레인 효율( $c=0.75$ )  
 $c$  : 크레인 Cycle time( $c=2.5$ 分)  
 $k$  : 작업 크레인 수 증가에 따른 작업 효율( $k=0.9$ )

이므로, 연간 총 하역회수를 1990년 부산항 컨테이너 전용부두로 입항한 선박척수를  $n$ 으로 하였을 경우( $n=1588$ ), 최적 1회 하역량에 대한 선박 하역 시간은 식(5.6)에 의한 값  $9393/\sqrt{n}=235.7$ 을 식(3.5)에 의한 값 32.4 VAN 으로 나눈 7.27시간에 접이안 작업 준비시간인 2시간을 더한 9.27시간이 된다. 따라서, BCTOC의 연간 접안 가능회수는 선석 점유율( $\rho$ )을 0.875, 선석수를 4선좌, 작업시간을 20시간, 연간 작업일수를 365일로 하였을 경우  $25550/9.27=2756$  회가 되므로 연간 최적하역량  $Q^*$ 는 식(5.3)로 부터

$Q^* = W^* \cdot N = 649,637 \text{ VAN/yr (1,026,426 TEU)}$ 가 된다. 하지만 이 값은 선석점유율이 0.875 일 때 ( $1/\mu=9.27$ ) 이어서 식(3.3)에 의한 선박의 입항 대기시간이 14 시간 정도 발생하므로 컨테이너선의 합리적인 대기시간인 1시간 에서 2시간 以内로 대기시간을 줄이기 위해서는 선석점유율을 0.52 에서 0.63 정도로 낮추어야 한다. 그러므로, 대기시간이 1시간인 경우 선석점유율이 0.52 이므로 연간 하역능력  $Q^*_{(\rho=0.52)}$ 는

$$Q^*_{(\rho=0.52)} = W^* \cdot N' = 235.7 \times (15184/9.27) = 386,070 \text{ VAN (=609,990 TEU)}$$

이 된다. 그리고, 대기시간이 2시간인 경우 선석 점유율이 0.63 이므로 연간 하역능력  $Q^*_{(\rho=0.63)}$ 는

$$Q^*_{(\rho=0.63)} = W^* \cdot N' = 235.7 \times (18396/9.27) =$$

467,783 VAN (=739,027 TEU)  
 이 된다.

(2) 폭주비용을 고려한 BCTOC의 컨테이너 최적 처리수준

4.4 절에서 계산한 입항선박과 陸送차량의 폭주비용을 고려한 BCTOC의 최적 1회 荷役量  $W^*$ 를 식(5.5)로 부터  $s \cdot v + p = V_p$ 로 하여 구하면,

$$W^{**} = \left( \frac{A \cdot ((u+q_1)/\alpha + c)}{n(V_p + (t+q_2)/b)} \right)^{1/2} \dots \dots (5.9)$$

$$= 314.5 \text{ (VAN)}$$

여기서,  $A$  : 822,227 VAN (130만 TEU)  
 $u$  : 7,744,040원  
 $c$  : 21,920,265원  
 $V_p$  : 23,647원  
 $t$  : 252,800원  
 $q_1$  : 23,618,105원 ( $33,740.15 \$ \times 700$ 원)  
 $q_2$  : 2,500원

이 된다. 이 때 船舶當 時間當 荷役能力  $r$ 은 식(3.5)에 의하여 32.4 VAN/berth 이므로 폭주비용을 고려한 최적 1회 하역량에 대한 선박하역 시간은 식(5.9) 와 식(3.5)에 의하여 산출된 9.7시간에 접이안 작업 준비시간인 2시간을 더한 11.7시간이 된다. 따라서, BCTOC의 연간접안 가능회수는 선석점유율( $\rho$ )을 0.875, 선석수를 4선좌, 1일 작업시간을 20시간, 연간작업일수를 365일로 하였을 경우 2183 회가 되므로 연간 최적 하역량  $Q^{**}$ 는 식(5.6)으로 부터,

$$Q^{**} = W^{**} \cdot N = 686,553 \text{ (VAN)} = 1,084,754 \text{ (TEU)}$$

가 된다. 하지만, 이 값은 선석점유율이 0.875일 때 이므로 식(3.1)에 의하여 선박의 입항대기시간이 17시간 발생하므로 대기시간을 1시간 에서 두시간 이내로 줄이기 위한 선석점유율은 0.52 에서 0.62 이내가 된다. 그런데, 선박 입출항 대기시간이 줄어들면 선박대기비용이 줄어들어  $q_1$ 이 감소한다. 따라서, 1시간의 대기시간을 가질때 선석점유율은 0.52이므로 연간하역능력  $Q^{**}$ 는 다음과 같다.



$$Q^{**'}_{(\rho=0.52)} = W^{***} \cdot N' = 388,416 \text{ (VAN)} = 613,697 \text{ (TEU)}$$

여기서,  $W^{***} : 237.9 \text{ VAN}$   
 $N' : 1,632 \text{ 회}$

그리고, 대기시간이 2시간인 경우 선석점유율이 0.63 이므로 연간하역능력  $Q^*_{(\rho=0.63)}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$Q^{**}_{(\rho=0.63)} = W^{***} \cdot N' = 462,381 \text{ VAN (=730,562 TEU)}$$

여기서,  $W^{***} : 241.1 \text{ VAN}$   
 $N' : 1,918 \text{ 회}$

식(5.9)에서 주목해야 할 것은 선박폭주비용( $q_2$ )과 육송차량의 폭주비용( $q_1$ )와의 관계이다. 먼저,  $q_1(\alpha \cdot W) > q_2/b$  일 경우는 선박폭주를 줄이기 위하여 식(5.9)에서 1회 최적 선박 수송 하역량인  $W^{**}$ 가 증가하며,  $q_1/(\alpha \cdot W) < q_2/b$  일 경우는 육송차량의 폭주를 줄이기 위하여  $W^{**}$ 가 증가하게 되므로 선박폭주와 육송차량폭주 비용은 서로 반비례 관계에 있는 것이다. 따라서 폭주비용을 고려한 최적 수송 및 하역량을 결정하기 위해서는 船舶輻輳費用과 陸送車輛輻輳費用을 면밀히 분석하여야 한다.

## 6. 결 론

釜山港의 컨테이너 物流 시스템을 선박 입출항 시스템, 항내 하역, 이송 및 보관 시스템, 항외 이송 및 보관 시스템, 내륙 연계 수송 시스템 등 4개의 부차시스템으로 나누어 컨테이너 화물 처리 능력과 항만의 컨테이너 물류 비용 분석을 위한 數理모델을 구성하고 시스템을 分析하였다.

컨테이너 處理能力 分析結果, 입출항 시스템에서는, 부산항 컨테이너 전용부두로의 입출항 선박은 평균톤수가 33,055 GRT였으며, 30,000-40,000 GRT 급 선박이 전체 입출항 선박의 약 50%를 차지하고 있었다. 선박의 도착시간 간격 분포는 95%의 신뢰도를 갖고  $Y=e^{-x/5.52}$ 인 부지수 분포를 따르고 있었으며, 컨테이너 전용부두에서 선박의 접안 서비스 시간 분포는 95%의 신뢰도를

갖고  $K=4$ 인 Erlang 분포를 따르고 있었다. 따라서, 부산항 컨테이너 전용부두의 선박 입항 및 서비스 패턴은 Poisson Input Erlang Service 임을 알 수 있었으며, Poisson Input Erlang Service 시 선박의 평균 대기시간은 28시간 33분이었다. 이때, 선박의 대기시간이 1시간 이내로 줄어들어 선박의 대기현상이 없어지려면 현행 입출항 및 서비스 패턴하에서는 선석이 모두 8개가 되어야 함을 확인하였다.

그리고, 항내 하역, 이송 및 보관 시스템에서는 컨테이너 전용부두로 입항하는 선박의 대기시간을 1시간 정도로 하면 연중무휴로 작업시 갠트리 크레인 9대에 의한 연간하역능력은 68만3천 TEU이고, 대기시간을 2시간 정도로 하면 연중무휴로 작업시 갠트리 크레인 9대에 의한 연간하역능력은 80만 6천 TEU였다. 또한, 항내 이송능력은 선석점유율이 0.5일 때 91만 3천 TEU였다. 이는 1990년 컨테이너 전용부두에서의 연간 처리량이 130만 TEU였음을 감안해 볼 때 격심한 폭주가 있었음을 알 수 있었다. 그리고, 컨테이너 전용부두에서의 평균 장치일수가 수입시 3.2일, 수출시 2.38일로 총평균 2.75일인 바, 이는 컨테이너 전용부두에서의 장치허용일수인 수출 4일 수입 5일 동안도 체재할 수 없을 정도로 보관능력이 부족하여 대부분의 컨테이너 화물이 짧은 체재기간을 거쳐 항외보관구역으로 이송되었음을 알 수 있었다. 또한, 재래부두에서의 컨테이너 처리능력은 공칭 처리능력이 36만 TEU인데 반하여 1990년에는 97만 TEU를 처리함으로써 하역작업에 무리가 있었음을 알 수 있었으며, 더우기 재래부두의 장치장 면적이 22,802m<sup>2</sup> 밖에 되지 않아서 적양화 화물은 대부분이 직상차되고 있는 실정이었다. 부산항은 컨테이너 전용부두와 재래부두 공히 저장능력이 부족하여 Off-Dock CY(ODCY)를 이용하고 있는데, 부산항 주변에는 반경 16km 이내에 16개 업체가 운영하는 34개소의 ODCY가 산재해 있어서 부산시 도시교통에 심한 영향을 미칠 뿐 아니라 부산시의 도시교통 폭주 때문에 내륙연계 수송에 심한 지장을 받고 있었다.

物流費用 分析結果, 부산항을 경유한 총 227만 TEU의 수출입 컨테이너에 대한 물류비용의 구성

은, 입출항비가 4.2%, 선박하역비가 12.7%, 이송 및 보관비가 7.5%, 내륙수송비가 75.6%로 내륙수송비의 비중이 가장 컸다. 컨테이너 전용부두의 경우, 폭주비용을 고려하지 않았을 경우 선박의 화물 수송계수가 1일때 1회 最適船舶輸送 및 하역량은 235.7 VAN 이었으며, 선박의 평균 대기시간이 1시간 정도 되게 선석점유율을 잡았을 때 컨테이너 전용부두의 연간 최적 처리량은 386,070 VAN (609,990 TEU)가 되고, 선박의 평균 대기시간이 2시간 정도 되게 선석점유율을 잡았을 때 컨테이너 전용부두의 연간 최적 처리량은 467,738 VAN (739,027 TEU)가 된다. 또한 선박 및 육송 차량의 폭주비용을 고려하였을 경우 1회 최적 선박 수송 하역량은 314.5 VAN 이었으며, 선박의 평균 대기시간이 1시간 정도 되게 선석점유율을 잡았을 경우 컨테이너 전용부두의 연간 최적 처리량은 388,416 VAN(613,697 TEU)가 되고, 선박의 평균 대기시간이 2시간 정도 되게 선석점유율을 잡았을 경우 컨테이너 전용부두의 연간 최적 처리량은 462,381 VAN(730,562 TEU)가 된다. 그러나 폭주비용을 고려함에 있어 부산항을 경유하는 컨테이너 화물이 증가할 경우 부산시 교통에 어떠한 영향을 미치는가 하는 것과 그로 인한 물류비용의 증가량 산출에 더욱 면밀한 연구가 필요하며, 他國 컨테이너 港의 능력과 해상수송비 분석에도 향후 많은 연구가 있어야 할 것이다.

### 참고문헌

- 1) 韓國海運港灣廳, 海運港灣統計年譜, 1982-1991
- 2) 부산 컨테이너 부두 운영공사 전산실, 1990-1991
- 3) 이철영, 釜山港의 국제 교역항으로서의 능력 제고에 관한 연구, 부산 경제 연구 총서 36, 부산 상공 회의소 부산 경제 연구원, 1991
- 4) 양원.이철영, 釜山港灣物動量이 都市交通에 미치는 影響에 관한 研究 - 컨테이너 貨物運送을 中心으로 - 45p, 50p, 韓國港灣學會誌 第4卷 1號, 1990
- 5) J. Imakita, A Techno-Economic Analysis of the Port Transport System 49=50p, 72-73p, 144p, Saxon House, 1977
- 6) 박규석.최재수.안기명.김태곤, 釜山港 港灣運送과 陸上交通連繫 시스템에 관한 經濟性 分析 - 컨테이너 貨物運送을 中心으로 - 54p, 1989년도 地域開發 研究課題 最終報告書, 1990
- 7) 박창호.이철영, 港內曳船의 適正規模決定에 관하여 30p, 35p, 韓國海洋大學 大學院, 1989
- 8) PHILIP M. MORSE, Queues, Inventories and Maintenance, 30-32p, RESUME OF QUEUEING THEORY 347-348p, John Wiley & Sons Inc.1957
- 9) 定方希夫, システム工學の基礎 115p, 東海大學出版會, 1990
- 10) 韓國海運港灣廳, 釜山港 廣域開發基本計劃報告書 第 1.2.3卷, 1989
- 11) 韓國關稅協會, 釜山港 컨테이너 輸出入統計, 1989-1990
- 12) 박창식, 우리나라 컨테이너 物流管理의 效率的 運用에 관한 研究 - 釜山港 最適 物流水準을 中心으로 - 68-69p, 경남대학교대학원 경영학과, 1989
- 13) Woodward-clyde consultants, Study on Maximized Utilization of Existing Container Terminal and Operational System Vol.1 -Main Text, Busan Container Terminal Operation Company, 1987
- 14) United Nations Conference on Trade and Development, Port development-A Handbook for planners in developing countries 141-154p, United Nations, 1985
- 15) United Nations Conference on Trade and Development, Berth throughput -Systematic methods for improving general cargo operations- 9-10p, United Nations, 1985
- 16) 阿保榮司, 物流の基礎 41-48p, 稅務經理協會, 1983
- 17) 下條哲司, 配船の經營科學 98-107p, 成山堂

- 書店, 1986
- 18) 韓國海運技術院, 컨테이너의 港灣內陸輸送合理化方案 84-126p, 1988
- 19) 河西健次, コストダウンのための物流 コスト計算の實際 37-48p, 日本物的流通協會, 1983
- 20) Eric Rath, Container Systems 303-328p, A Wiley-Interscience Publication, 1973
- 21) 문성혁·이철영(1983), 港灣운송시스템의 分析에 관한 研究, 한국항해학회지 제7권 1호
- 22) 한국선주협회(1990) & H 해운 운항부(1991)